

**Optical apparatus with an illumination grid and detector grid having an array of anamorphic lenses**

Patent Number: ☐ US6252717  
Publication date: 2001-06-26  
Inventor(s): GROSSKOPF RUDOLF E (DE)  
Applicant(s):  
Requested Patent: ☐ DE19651667  
Application: US19970964126 19971104  
Priority Number(s): DE19961051667 19961212  
IPC Classification: G02B27/10; H01J3/14; H01J5/16;  
EC Classification: G01B9/04, G02B21/00M4  
Equivalents: ☐ JP10206129

---

**Abstract**

---

An apparatus for three-dimensional investigation of an object including an illuminating grid located in an illumination plane and generating a plurality of points of light when illuminated by a light source; an optical imaging system that images the illuminating grid in a focal plane at the location of the object to be measured and also images light radiated from the object into a receiver plane; a receiver array with photosynthesis areas that records the light transmitted by optical imaging system and the light that is reflected in or at the object or is emitted by fluorescence; and an array of anamorphic lenses located in front of receiver array

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Off nl gungsschrift  
⑩ DE 196 51 667 A 1

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
G 02 B 21/00

② Aktenzeichen: 196 51 667.6  
② Anmeldetag: 12. 12. 96  
④ Offenlegungstag: 11. 9. 97

Vorlage	Ablage	R1785N
Haupttermin		
Eing.: 17. APR. 2003		
PA. Dr. Peter Riebling		
Bearb.:	Vorgelegt.	

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

⑦ Anmelder:  
Großkopf, Rudolf, Dr.-Ing., 89551 Königsbrunn, DE

⑦ Erfinder:  
gleich Anmelder

Der Inhalt dieser Schrift weicht von den am Anmeldetag eingereichten Unterlagen ab

⑤ Vorrichtung und Verfahren zur dreidimensionalen Untersuchung eines Objektes

DE 196 51 667 A 1

DE 196 51 667 A 1

3747

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 07. 97 702 037/543

6/22

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur dreidimensionalen Untersuchung eines Objektes nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Eine d arartige Vorrichtung ist aus der DE 40 35 799 bekannt. Dort wird ein Beleuchtungsrastrer mit einem Rastermaß auf ein Empfängerarray abgebildet, welches mit dem Rastermaß der lichtempfindlichen Bereiche des Empfängerarrays übereinstimmt oder ein ganzzahliges Vielfaches von diesem ist. Es wird die Blendenwirkung des Empfängerarrays ausgenutzt. Eine solche Anordnung hat den Nachteil, daß bei der Auswertung der aus verschiedenen Objektebenen aufgenommenen Bilder zur Ermittlung der Tiefenwerte jeweils die Absolutwerte der Helligkeit ausgewertet werden und ihr Maximum bestimmt werden muß.

Eine Einrichtung, die es gestattet, den Abstand eines Meßortes mit einer Nullsignal-Detektion und mit anamorphotischer Abbildung eines Punktes zu erfassen, ist ebenfalls bekannt. Dabei wird das Licht einer Laserdiode auf das zu beleuchtende Objekt abgebildet und das von diesem reflektierte Licht von einer anamorphotischen Linse so abgebildet, daß in einer Zwischenebene zwischen den beiden von der anamorphotischen Linse vorgegebenen Focusebenen ein etwa kreisförmiges Bild des Punktes entsteht. Eine solche Anordnung liefert außerhalb dieser Zwischenebene bei geeigneter Auswertung des Bildes mit dafür ausgelegten Strahlungsempfängern ein Richtungssignal, das anzeigt, in welcher Richtung die Lage des Meßobjektes von der Sollage abweicht. In Tonwiedergabegeräten für Compact Disc werden solche Anordnungen eingesetzt. Allerdings wird dabei jeweils nur ein einziger Punkt des Objektes erfaßt. Messungen mit einer derartigen Anordnung erfordern deshalb in der Metrologie, wo viele Meßpunkte in kurzer Zeit zu erfassen sind, viel Zeit. Das gilt besonders, wenn große Flächen des Objektes vermessen werden sollen.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Einrichtung zu schaffen, die es gestattet, den Sollabstand mit einer Nullsignal-Detektion zu bestimmen und dabei viele Meßpunkte gleichzeitig zu erfassen. Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmalskombination des Anspruchs 1 gelöst.

Vorteilhafte Ausführungen der Erfindung sind in den Ansprüchen 2 bis 16 aufgezeigt.

Die erfindungsgemäße Anordnung hat den Vorteil, daß der Abstand der einzelnen Meßpunkte z. B. durch eine Nullsignal-Detektion bestimmt wird und daß sehr viele Meßpunkte gleichzeitig erfaßt werden. Dies geschieht kostengünstig, weil als Strahlungsempfänger Empfängerarrays, vorzugsweise CCD-Arrays und Arrays aus anamorphotischen Linsen eingesetzt werden, die zum Beispiel durch Formpressen kostengünstig hergestellt werden können.

Die Signal-Detektion wird verwirklicht, indem die Anordnung des Empfängerarrays zu dem Array anamorphotischer Linsen so gestaltet wird, daß beim Sollabstand das Bild des vom beleuchteten Punkt der Probe reflektierten und von einer anamorphotischen Linse abgebildeten Lichtes kreisförmig so auf vier Strahlungsempfänger (Pixel) des Empfängerarrays fällt, daß jeder Strahlungsempfänger gleich viel Licht oder eine Lichtmenge enthält, die im Verhältnis zu den Lichtmengen vorgegeben ist, die auf den oder die übrigen diesem Punkt zugehörigen Strahlungsempfänger fallen.

Die Anordnung nach der Erfindung unterscheidet

sich von der Anordnung, wie sie in der Patentschrift DE 40 35 799 geschildert ist, darin, daß dort die Blendenfunktion der arrayförmig angeordneten Strahlungsempfänger ausgenutzt wird, deren lichtempfindliche Bereiche durch Zwischenräume von inander getrennt sind. Die Abstandsdetektion erfolgt durch Auswertung des auf dem jeweiligen Pixel des Strahlungsempfängerarrays detektierten Intensitätsmaximums. Dazu wird eine Meßreihe aufgenommen, die Werte von mehreren verschiedenen z-Positionen des Objektes im Rechner abspeichert. Dieser bestimmt für jedes Pixel die z-Position, in der seine Intensität ihr Maximum hat. Daraus ergibt sich der zu ermittelnde Abstandswert. Bei der vorliegenden Erfindung wird dagegen die Differenz oder ein vorgegebenes Verhältnis der Signale von benachbarten Pixeln des Empfängerarrays ausgewertet. Wo der Nullwert oder das vorgegebene Verhältnis erreicht ist, befindet sich die Sollage, die den zu ermittelnden Tiefenwert liefert. Es kommen dabei Empfängerarrays zum Einsatz, die zwischen benachbarten Pixeln keine oder nur eine sehr kleine lichtunempfindliche Zone aufweisen. Zur Detektion des Abstandssignals ist es bei der vorliegenden Erfindung erforderlich, Empfängerarrays mit unmittelbar aneinander grenzenden lichtempfindlichen Bereichen zu verwenden. Deshalb unterscheidet sich die Anordnung nach der vorliegenden Erfindung ganz grundlegend von der in der genannten DE geschilderten.

Die Anordnung nach der Erfindung eignet sich besonders zur dreidimensionalen Vermessung mechanischer Teile im Auflicht und zur Aufnahme von 3D-Bildern von fluoreszierenden Objekten. Für mechanische Teile wird in an sich bekannter Weise im Strahlengang ein halbdurchlässiger Spiegel zur Trennung des Beleuchtungslichtes vom vom Objekt reflektierten Licht eingesetzt. Für Fluoreszenzanwendungen werden in an sich bekannter Weise ein dichroitischer Spiegel und gegebenenfalls auch Lichtfilter zur Trennung von Beleuchtungslicht und durch Fluoreszenz vom Objekt ausgesendeten Licht eingesetzt.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von in den Fig. 1 bis 24 dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Dabei zeigt:

Fig. 1 eine Ausführung, bei der das Beleuchtungsrastrer durch eine Glasplatte mit Löchern erzeugt wird,

Fig. 2 eine Glasplatte mit Löchern,

Fig. 3 eine anamorphotische Linse in zwei Seitenansichten,

Fig. 4 ein Array mit anamorphotischen Linsen,

Fig. 5 ein Empfängerarray im gleichen Maßstab,

Fig. 6 ein Empfängerquadrupel mit dem Bild des beleuchteten Punktes in der Sollage,

Fig. 7 ein Empfängerquadrupel mit dem Bild des beleuchteten Punktes außerhalb der Sollage,

Fig. 8 ein Empfängerquadrupel mit geschwärmtem Zentrum und Bild des Objektpunktes in der Sollage,

Fig. 9 ein Empfängerquadrupel mit geschwärmtem Zentrum und Bild des Objektpunktes außerhalb der Sollage,

Fig. 10 mehrere Strahlenkegel in der Nähe des Empfängerarrays,

Fig. 11 eine T lezentriellende ausgebildet als V llpupille,

Fig. 12 eine T el zentriellende ausgebildet als Ringpupille,

Fig. 13 ein Array anamorphotischer Linsen mit lichtdurchlässigen Zwischenräumen,

Fig. 14 eine Anordnung mit Beleuchtung der Löcher

mit einem Linsenarray,

Fig. 15 eine Anordnung mit Lichtquellenarray zur Beleuchtung,

Fig. 16 eine Beleuchtungsanordnung zur Erzeugung des Punktrasters ohne Verwendung eines Lochrasters,

Fig. 17 eine Anordnung, bei der durch ein Linsenarray eine Blende vielfach in die Beleuchtungsebene abgebildet wird,

Fig. 18 ein Beispiel für eine Blende zur Anordnung nach Fig. 17,

Fig. 19 den Verlauf des Differenzsignals eines Strahlungsempfängerquadrupels in Abhängigkeit von der Abweichung von der Sollage,

Fig. 20 und 21 ein mechanisches Teil, das als Beispiel zur Erläuterung der Meßstrategie dient, und

Fig. 22 bis 24 die Lage verschiedener Bildfolgen in Bezug auf das zu vermessende Teil.

In Fig. 1 ist mit 11 eine Lichtquelle, z. B. eine Halogenlampe, bezeichnet, die mit Hilfe des Kondensors 11k, evtl. über ein Filter 11f (zur Aussonderung eines ausreichend schmalen Spektralbereiches), Löcher 12l in einer Schicht 12s beleuchtet. Eine derartige Schicht kann in bekannter Weise z. B. aus Chrom auf einer Glasplatte 12g hergestellt werden. Die Löcher 12l sind in der Schicht 12s ebenso rasterförmig angeordnet wie die lichtempfindlichen Bereiche des Empfängerarrays 17. Wird z. B. ein Empfängerarray mit  $512 \times 512$  Empfängern verwendet, die im Abstand von  $11 \mu\text{m}$  rasterförmig angeordnet sind, dann enthält die Schicht  $256 \times 256$  Löcher mit einem Abstand von  $22 \mu\text{m}$  und mit einer Lochgröße von z. B.  $4 \mu\text{m} \times 4 \mu\text{m}$ . Die Löcher sind also erheblich kleiner als ihr Abstand. Der Abstand der Löcher bzw. Bereiche von Mitte zu Mitte wird als Rastermaß bezeichnet.

Das durch die beleuchteten Löcher 12l in der Schicht 12s erzeugte Beleuchtungsraster liegt in der Beleuchtungsebene 11b. Diese wird durch die Linsen 13o, 13u in die Fokusebene 13f abgebildet, so daß in letzterer das Objekt 14 mit rasterförmig angeordneten Lichtpunkten beleuchtet wird. Bei nicht transparenten Objekten kann nur die Oberfläche 14o beleuchtet werden, während bei transparenten Objekten auch Schichten 14s im Inneren mit den Lichtpunkten beleuchtet werden können. Die vom Objekt in der Ebene 13f reflektierten Lichtstrahlen werden von den Linsen 13u, 13o über einen Strahlteiler 16 in der Empfängerebene 17b abgebildet. Blenden werden in der Ebene anamorphotischer Linsen 66 realisiert durch die Ränder der anamorphotischen Linsen, die durch Zwischenräume voneinander getrennt sind. Zwischen den Linsen 13o, 13u ist üblicherweise eine sog. Telezentrie-Blende 13t angeordnet, welche dafür sorgt, daß der Mittelstrahl 13m parallel zur optischen Achse 10 auf das Objekt 14 trifft, so daß die Lage der Lichtpunkte auf dem Objekt sich nicht ändert, wenn das Objekt 14 in Richtung der optischen Achse 10 bewegt wird.

Der vorerwähnte Strahlteiler 16 ist für Auflichtanwendungen als halbdurchlässiger Spiegel ausgeführt. Für Fluoreszenzanwendungen wird in an sich bekannter Weise ein dichroitischer Spiegel eingesetzt.

Das Objekt 14 kann durch eine Verstellvorrichtung 15 in allen 3 Raumrichtungen bewegt werden, so daß verschiedene Schichten 14s des Objektes 14 abgescannt werden können. Dabei kann die Bewegung in x- und y-Richtung kleiner gewählt werden als das Rastermaß der Lichtpunkte 12, wenn eine Ortsmessung mit höherer Auflösung als durch das Rastermaß vorgegeben ist, benötigt wird. Selbstverständlich kann die Bewegung des Objektes 14 in z-Richtung auch durch V verschieben der

Linsen 13o, 13u in Richtung der optischen Achse 10 erreicht werden und ebenso können anstelle der Bewegung des Objektes in x- und y-Richtung auch die Schicht 12s mit den Löchern 12l, das Linsenarray 66 und das Empfängerarray 17 entsprechend bewegt werden.

Die Signale des Empfängerarrays 17 werden über die Verbindungsleitung 17v in einen Computer 18 übertragen, der in bekannter Weise die Auswertung übernimmt und auf einem Bildschirm 18b die Ergebnisse der Auswertung z. B. in Form von graphischen Darstellungen wiedergibt. Der Computer 18 kann auch über die Verbindungsleitung 18v die Verschiebung der Meßebeene 13f im Objekt und das Scannen in x- und y-Richtung steuern. Diese Steuerung kann im Computer als festes Programm vorliegen oder abhängig von den Ergebnissen der Auswertung erfolgen.

Fig. 2 zeigt eine Glasplatte 12g in der Draufsicht, wobei ein Beleuchtungspunkt 12l vergrößert herausgezeichnet ist. Die arrayförmige Anordnung der Beleuchtungspunkte ist nur angedeutet, in Wirklichkeit wird, wie schon erwähnt, in rasterförmiger Anordnung zum Beispiel 128 Zeilen mit je 128 Beleuchtungspunkten vorgesehen.

In Fig. 3 ist eine einzelne anamorphotische Linse 60a, 60b in zwei seitlichen Ansichten wiedergegeben. Der Bezug auf die Ansichten ergibt sich aus den Pfeilen A (entspricht 60a) und B (entspricht 60b) in Fig. 4.

Fig. 4 zeigt ein Array anamorphotischer Linsen 66 in der Draufsicht. Eine einzelne anamorphotische Linse 60 ist vergrößert herausgezeichnet. Vorteilhaft ist es, ebenso viele anamorphotische Linsen vorzusehen, wie Beleuchtungspunkte vorhanden sind.

Fig. 5 zeigt im gleichen Maßstab das zugehörige Empfängerarray 17. Jeder anamorphotischen Linse ist ein Empfänger-Quadrupel 6 zugeordnet, das aus dem Empfängerpaar 8a, 8b und dem Empfängerpaar 9a, 9b und damit aus insgesamt vier Einzelempfängern 8a, 8b, 9a, 9b besteht.

Selbstverständlich ist das nur ein Beispiel. Es sind z. B. auch Anordnungen mit nur zwei Strahlungsempfängern (Pixeln) je anamorphotische Linse denkbar.

In Fig. 6 ist das von einer anamorphotischen Linse erzeugte Bild für den Fall dargestellt, daß der zugehörige Meßort auf dem Objekt sich im Sollabstand befindet. Man erkennt, daß sein Bild im dargestellten Beispiel kreisförmig ist und daß die Empfänger 8a und 8b und die Empfänger 9a und 9b gleich viel Licht bekommen. Der Sollabstand liegt also vor, wenn erstens der Beleuchtungspunkt auf dem Objekt 14 focussiert ist und zweitens sein Bild in der Empfängerebene 17b kreisförmig ist. Besonders sei darauf hingewiesen, daß es für eine gute Funktion einer Anordnung nach der Erfindung nicht erforderlich ist, die hier dargestellte Kreisform für die Sollage vorzusehen. Sie stellt nur eine mögliche und günstige Form des Bildes des Objektpunktes dar. Auch Vorgehensweisen, bei denen eine vorgegebene Ellipsenform zur Sollage zugeordnet wird und die Auswertung entsprechend erfolgt, sind brauchbar.

Außerhalb der Sollage fällt beim hier erläuterten Beispiel auf eines der Empfängerpaare mehr Licht als auf das andere. Das ist in Fig. 7 dargestellt. Die Empfänger 9a und 9b erhalten mehr Licht als die Empfänger 8a und 8b. Die Unsymmetrie kehrt sich um, wenn die Lage der Probe 14 in der anderen Richtung von der Sollstellung abweicht. Dann bekommen die Empfänger 8a und 8b mehr Licht als die Empfänger 9a und 9b. So wird das Richtungssignal gewonnen. Es ergibt sich rechnerisch aus der Gleichung

$$ud = (L8a + L9b) - (L9a + L9b).$$

Dabei bedeuten

ud das Abstandssignal, das in der Sollage einen vorgegebenen Wert, z. B. Null annimmt,  
 L8a das Signal, das der auf den Empfänger 8a fallenden Lichtmenge proportional ist,  
 L8b das Signal, das der auf dem Empfänger 8b fallenden Lichtmenge proportional ist,  
 L9a das Signal, das der auf den Empfänger 9a fallenden Lichtmenge proportional ist,  
 L9b das Signal, das der auf den Empfänger 9b fallenden Lichtmenge proportional ist.

Das Abstandssignal kann in der Weise genutzt werden, daß innerhalb eines Meßbereiches die Sollage aus dem Wert  $ud$  errechnet wird. So kann auf Einstellung des exakten Sollabstandes bei der Meßfolge verzichtet werden. Es kann z. B. auch genutzt werden, um Objekte 14, die größer sind als das Sehfeld der Anordnung, in ansich bekannter Weise scannend zu vermessen. Es ist dazu möglich, während der Bewegung des Objektes 14 ein Signal der mittleren Abweichung von der Sollage zu errechnen und die z-Position des Objektes relativ zur Meßanordnung in einem Koordinatenmeßgerät so nachzuregeln, daß sie den Oberflächenkonturen des Objektes folgt. Geschieht dies mit einer definierten Geschwindigkeit, so daß der Rechner jeweils die Kontrolle darüber hat, auf welche Empfänger die im Sehfeld befindlichen Teilgebiete des Objektes zu unterschiedlichen Zeitpunkten abgebildet werden, gelingt es, in einer Art Schleppe einen ganzen Streifen des Objektes rasch zu erfassen und das Höhengebirge aus den registrierten Daten auszuwerten. Das wird weiter unten noch an einem Beispiel erläutert.

Fig. 8 zeigt eine Ausführungsform des Empfängerquadrupels 8a, 8b, 9a, 9b mit geschwärzten und dadurch lichtunempfindlichem Bereich 7 und dem kreisförmigen Bild, das in der Sollage von der zugehörigen anamorphotischen Linse erzeugt wird. In Fig. 9 ist die gleiche Anordnung dargestellt, jedoch mit dem ellipsenförmigen Bild, das außerhalb der Sollage entsteht. Man erkennt, daß das Empfängerpaar 8a, 8b in diesem Falle gar kein Licht erhält. Das ist von Vorteil, weil so die Meßanordnung eine größere Empfindlichkeit zur Detektion der Abweichung von der Sollage erhält als das ohne die Schwärzung der Fall wäre.

Fig. 10 dient dem Zweck, den Strahlengang, wie er von den anamorphotischen Linsen abzubilden ist, im einzelnen zu erläutern. Es ist wichtig, das Array anamorphotischer Linsen in einem geeigneten Abstand vor dem Empfängerarray anzuordnen. Die Strahlenkegel von mehreren simultan beleuchteten Objektpunkten vor dem Detektorarray und ihre Mittellinien 81 sind dargestellt. Im Bereich 87 verlaufen die Strahlenkegel überlappend, während sie im Bereich 86 getrennt voneinander verlaufen. Das Array anamorphotischer Linsen wird zweckmäßig etwa in der Mitte 86m des Bereiches 86 angeordnet. Dann ist der Abstand zwischen den Lichtkegeln groß genug und der Abstand zum Empfängerarray ist ebenfalls ausreichend.

Fig. 11 zeigt die Vollpupille der Telezentrielle. Sie liegt den bisherigen Erläuterungen zugrunde. Da die Mittelstrahlen zur Z-Auflösung wenig beitragen, kann es jedoch vorteilhaft sein, sie mit einer Ringblende auszublenzen. Ein Beispiel dafür ist in Fig. 12 abgebildet. Nur der Ring 4t ist lichtdurchlässig, so daß die zentrums-

nahen Lichtstrahlen nicht mit abgebildet werden. Der Dynamikbereich des Strahlungsempfängerarrays kann so besser ausgenutzt werden, so daß außerhalb der Sollage ein größeres Abweichungssignal entsteht. Insofern hat die ringförmige Telezentrielle eine ähnliche Wirkung wie die an Fig. 8 erläuterte Schwärzung des Zentrums eines Empfängerquadrupels.

Fig. 13 zeigt eine andere Ausführungsform des Arrays anamorphotischer Linsen. Die anamorphotischen Linsen 64 auf dem Array 68 sind kreisförmig begrenzt. Die Zwischenräume 88 sind lichtundurchlässig. So wird ein Teil des Lichtes, das von weit außerhalb der Sollage liegenden Objektpunkten stammt, vom Empfängerarray abgeschirmt. Dadurch wird eine Störsignalunterdrückung bewirkt. Diese Störsignalunterdrückung wird, wie sich aus den vorstehenden Darlegungen ergibt, durch eine Blendenfunktion bewirkt, die von den Randbegrenzungen der kreisförmigen Flächen ausgeht. Im Unterschied zur vorbekannten Anordnung nach DE 40 35 799 geht die Blendenfunktion von dem erfindungsgemäßen Array anamorphotischer Linsen aus und nicht vom Empfängerarray. Zudem ist die Blendenfunktion bei der vorliegenden Erfindung nicht unbedingt erforderlich. Sie hat nur funktionsverbessernde Wirkung.

In Fig. 14 ist zwischen dem Kondensator 11k bzw. dem Filter 11f und der Schicht 12s mit den Löchern 12l ein Linsen-Array 22a angeordnet, welches ebenso viele kleine Linsen 22l enthält wie die Schicht 12s Löcher 12l hat. Die Linsen 22l haben die Aufgabe, Bilder der Leuchtquelle der Lichtquelle 11 in die Löcher abzubilden und damit den Lichtpunkten eine größere Intensität zu geben.

Das Linsenarray 22a und die Schicht 12s mit den Löchern 12l können — wie dargestellt — in einem gemeinsamen Teil 22g vereinigt sein. Die Herstellung geeigneter Linsen-Arrays ist z. B. aus einer Veröffentlichung von K. Koizumi (SPIE Vol. 1128, 74) bekannt.

Eine besonders vorteilhafte Realisierung des Beleuchtungsrasters ist in Fig. 15 dargestellt. Dort ist mit 31 ein Lichtquellen-Array bezeichnet, welches z. B. aus Lumineszenzdioden (LEDs) 31l bestehen kann. Auch in diesem Fall kann es vorteilhaft sein, in der Beleuchtungsebene 11b eine Schicht 32s mit Löchern 32l anzuordnen, damit die Lichtpunkte genügend kleine Abmessungen erhalten. Außer dem Objektiv 31o für die Abbildung ist eine Feldlinse 31f für die weitere Abbildung im Strahlengang zweckmäßig.

Vorteilhaft ist es, für das Beleuchtungsraaster integrierte LED-Arrays zu verwenden, wie sie z. B. in einer Veröffentlichung von J. P. Donnelly (SPIE 1043, 92 (1989)) beschrieben sind. Derartige LED-Arrays haben den Vorteil, daß definierte Teilmengen der LEDs ein- und ausgeschaltet werden können. In beiden Fällen kann das Ein- und Ausschalten vom Computer 18 über die Schaltungsvorrichtung 19 gesteuert werden.

Der in den Fig. 1, 14 und 15 dargestellte Strahlengang zwischen Beleuchtungsebene 11b, Fokusebene 13f und Blendenebene 17b ist nur eine spezielle Ausführungsform von mehreren bekannten Strahlengängen, bei denen die Erfindung in für den Fachmann sofort erkennbarer Weise angewendet werden kann. Außerdem ist auch bei dem dargestellten Strahlengang eine Abbildung der Beleuchtungsebene 11b in die Fokusebene 13f im Maßstab 1:1 keineswegs notwendig. Vielmehr ist dabei nicht nur — wie von Mikroskopen bekannt — eine Verkleinerung, sondern auch eine Vergrößerung möglich, weswegen in der Überschrift auch nicht die Bezeichnung Mikroskop verwendet wurde.

In der Fig. 16 wird das Beleuchtungsraster durch ein Linsen-Array 53 erzeugt, welches durch ausreichend gute Abbildungseigenschaften von einer nahezu punktförmigen Lichtquelle 51 ausreichend kleine Lichtpunkte 54 in der Beleuchtungsebene 11b herstellt. Die Kondensorlinse 52 bewirkt, daß das Linsenarray 53 von einem Parallelbündel durchsetzt wird, so daß jede einzelne Linse 53l optimal benutzt wird. Eine Lochrasterplatte wird hier nicht benötigt.

Fig. 17 zeigt eine Anordnung, bei der durch ein Linsenarray 53 eine Blende 61 vielfach in die Beleuchtungsebene 11b abgebildet wird. Diese Blende wird über den Kondensor 62 und die Streuscheibe 63 von der Lichtquelle 11 beleuchtet. Als Blende sind die verschiedensten Ausführungsformen möglich. Als Beispiel zeigt die Fig. 18 eine Blende 61 mit quadratischer Begrenzung des lichtdurchlässigen Bereiches 71 und einem lichtundurchlässigen Zentrum 72 für ein Beleuchtungsraster.

Fig. 19 zeigt schematisch den Verlauf 103 des Differenzsignals und von einem Sensorquadrupel in Abhängigkeit vom Objektstand. Es ist erkennbar, daß das Signal in der Sollage 100 gleich Null ist und in einem Bereich 101 bis 103 annähernd linear verläuft. Über einen Eichprozeß kann die Steigung in Bezug auf die Abgabe bestimmt werden und der Abstand auch ohne Aufnahme eines Bildes in der Sollage selbst rechnerisch im Computer bestimmt werden. Bei Anordnungen, bei denen sich zwar kein linearer aber ein reproduzierbarer Verlauf ergibt, kann entsprechend mit einer Eichkurve (look-up-table) verfahren werden. Bei Anordnungen, bei denen sich zwar kein linearer, aber ein reproduzierbarer Verlauf ergibt, kann entsprechend mit einer Eichkurve (look-up-table) verfahren werden. Dies ist ein ganz wesentlicher Vorteil gegenüber den bekannten konfokalen Anordnungen.

Fig. 20 und 21 zeigen ein mechanisches Teil 105 in zwei Ansichten, das als Beispiel für die Erläuterung vorteilhafter Meßstrategien dient.

In Fig. 22 ist der Schnitt A-A durch das Teil 105 vergrößert wiedergegeben und die Folge verschiedener Bildebenen 110, die in der Meßrichtung (z-Richtung) übereinander liegen, ist dargestellt.

Fig. 23 zeigt wie Fig. 22 eine weitere Folge 110 verschiedener übereinander liegender Bildebenen zur Vermessung eines anderen Bereiches des mechanischen Teiles 105.

Bei einer Vorgehensweise wie in Fig. 22 und 23 dargestellt, ist nach Aufnahme der ersten Meßfolge ein größerer Weg des zurückzulegen, der einen schnellen Antrieb für die Relativbewegung zwischen Werkstück und Sensor wünschenswert erscheinen läßt.

In Fig. 24 ist eine Folge 1. bis 22. von Bildebenen dargestellt, von denen einige (5. bis 11.) übereinander liegen und andere (z. B. 11. bis 22.) schräg überlappend angeordnet sind. Die Aufnahme schräg überlappender Bilder ist unter anderem vorteilhaft, wenn das Meßgerät, in dem der Sensor nach der Erfindung verwendet wird, nicht über einen schnellen Antrieb zur x-y-Bewegung des Sensors relativ zum Objekt bzw. des Objektes relativ zum Sensor verfügt. So können die Verschiebungen kontinuierlich oder quasi-kontinuierlich erfolgen, ohne daß ein schneller Antrieb, der hohe Beschleunigungen und rasches Anhalten ermöglicht, benötigt würde. Ohne Einbußen an Meßgeschwindigkeit kann bei Anwendung der Meßstrategie, wie in Fig. 24 dargestellt, mit kostengünstigen Meßsystemen rasch gemessen werden.

1. Vorrichtung zur dreidimensionalen Untersuchung eines Objektes

- mit einem in einer Beleuchtungsebene angebrachten Beleuchtungsraster (12), das eine Vielzahl Leuchtpunkte erzeugt,
- mit einem oder mehreren optischen Elementen (13o, 13u), die das Beleuchtungsraster in einer Fokusebene am Ort des zu messenden Objektes (14) und das von dort abgestrahlte Licht in eine Empfängerebene abbilden,
- und mit einem Empfängerarray (17) mit lichtempfindlichen Bereichen, das das von den optischen Elementen (13o, 13u) übertragene und im oder am Objekt reflektierte oder durch Fluoreszenz emittierte Licht registriert,

dadurch gekennzeichnet,

- daß vor dem Empfängerarray (17) ein Array anamorphotischer Linsen (66) angeordnet ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungsraster (12) mit einem Rastermaß auf Array anamorphotischer Linsen (66) abgebildet ist, welches mit dem Rastermaß des Arrays anamorphotischer Linsen (66) übereinstimmt oder ein ganzzahliges Vielfaches von diesem ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Array anamorphotischer Linsen (66) in einem Abstandsbereich (86) vor der Ebene des Empfängerarrays (17) angeordnet ist, in dem in der Sollstellung auch die Randstrahlen des vom zugehörigen Beleuchtungspunkt stammenden Lichtes innerhalb der von den anamorphotischen Linsen erfaßten Apertur zu liegen kommen.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1—3, dadurch gekennzeichnet, daß jedem Beleuchtungsrasterpunkt (12l) jeweils eine anamorphotische Linse (60, 64, 65) zugeordnet ist.

5. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jeder anamorphotischen Linse (60, 64) jeweils ein Strahlungsempfängerquadrupel (8a, 8b, 9a, 9b) des Empfängerarrays zugeordnet ist.

6. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Justierung des Empfängerarrays zu dem Array anamorphotischer Linsen so vorgenommen ist, daß in der Sollstellung die Bilder (2) des von den beleuchteten Punkten der Probe reflektierten und von den anamorphotischen Linsen abgebildeten Lichtes kreisförmig auf die im Quadrat angeordneten Strahlungsempfänger (Pixel) so fallen, daß die Mittelpunkte der Kreise mit den Kreuzungspunkten zusammenfallen, die die Trennlinien zwischen den Strahlungsempfängern bilden.

7. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in der Sollstellung jeder der einem Beleuchtungspunkt zugeordneten Strahlungsempfänger gleich viel Licht erhält oder daß er eine Lichtmenge erhält, die im Verhältnis zu den auf den oder die anderen zugeordneten Empfänger fallenden Lichtmengen vorgegeben ist.

8. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Differenz oder ein vorgegebenes Verhältnis

nis der Signale benachbarter Strahlungsempfänger ausgewertet wird.

9. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Ringpupille (4t) die Mittenstrahlen ausblendet.

10. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Blende (61) zur Erzeugung der Beleuchtungspunkte mehrfach abgebildet wird, die einen lichtundurchlässigen Zentralbereich (72) aufweist.

11. Verfahren zur Meßwertaufnahme mit einer Anordnung nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß digitalisierte Bilder aus übereinander liegenden Bildebenen (110) abgespeichert werden und daß in diesen Bildern individuell für jedes Empfangsquadrupel die Nulldurchgänge (100) des Signals ausgewertet werden und daß die zugehörige Lage der Bildebene (110) als Tiefenwert (z-Wert) am entsprechenden Ort des Objektes abgespeichert wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß Digitalwerte aus senkrecht übereinander liegenden (5. bis 11.) und aus schräg übereinander liegenden (11. bis 22.) Bildebenen abgespeichert und ausgewertet werden.

13. Verfahren nach Anspruch 11 und/oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß unter Ausnutzung des bekannten Verlaufes (103) des Differenzsignals die exakte Lage des Nulldurchganges errechnet wird und daraus die genaue Lage des Objektpunktes zwischen zwei übereinander liegenden oder schräg übereinander liegenden Bildebenen (110) ermittelt wird und daß dieser interpolierte Wert als Meßwert für die z-Abtastung des Objektes abgespeichert wird.

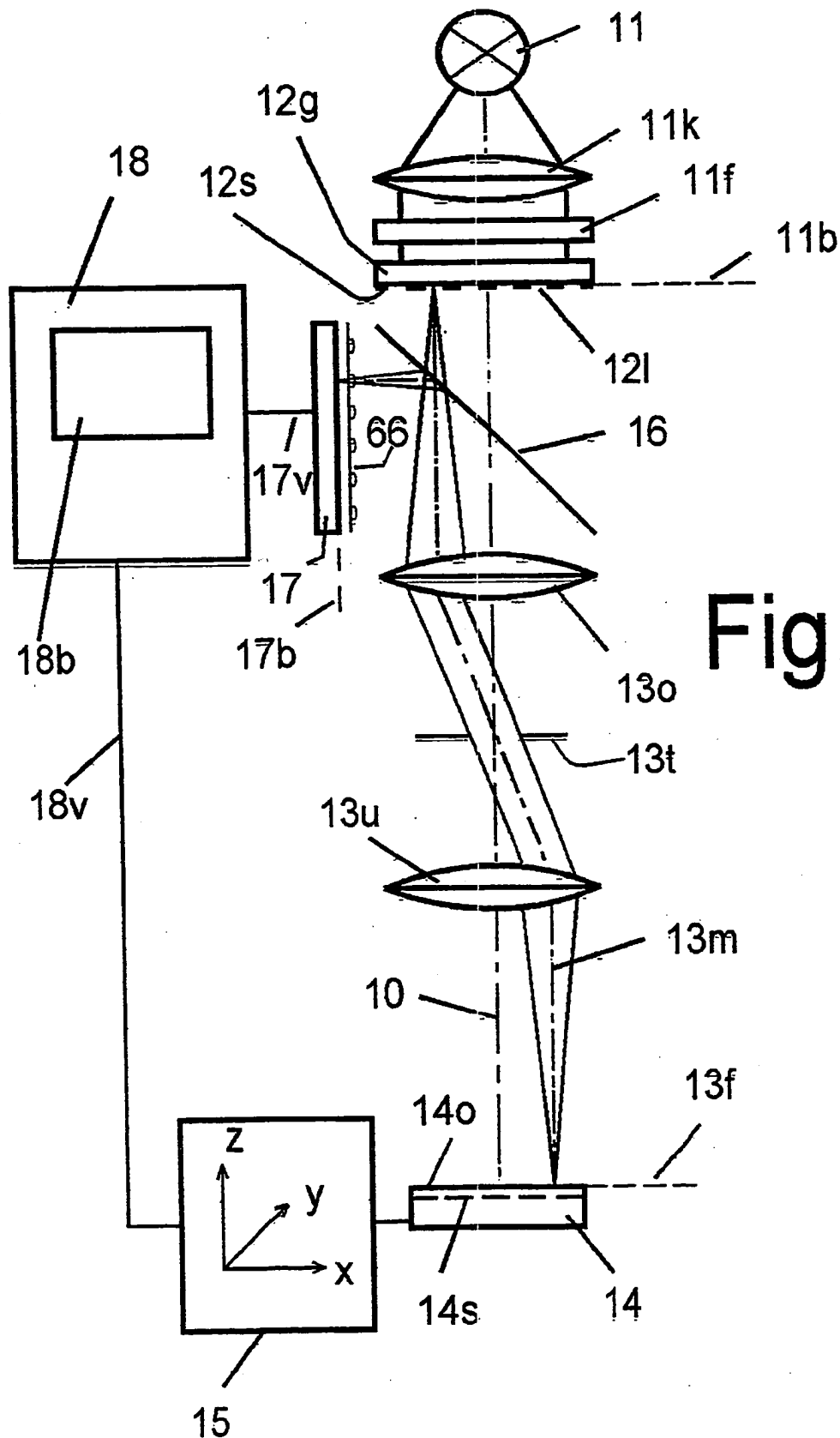
14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die seitliche Verschiebung  $d_i$ , die von Bildabspeicherung zu Bildabspeicherung erfolgt ist, vom Rechner erfaßt und bei der Zuordnung der Meßwerte berücksichtigt wird.

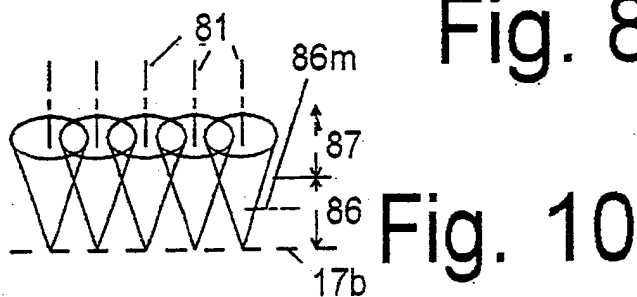
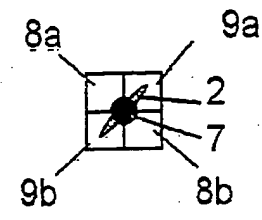
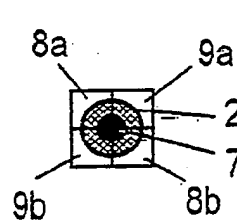
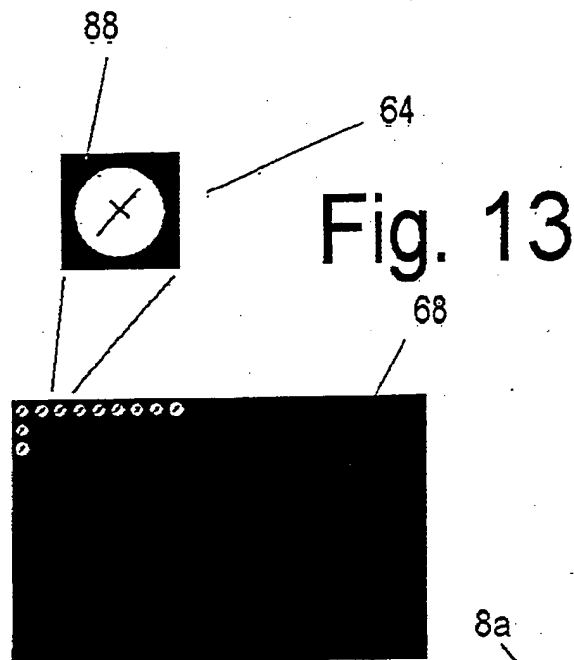
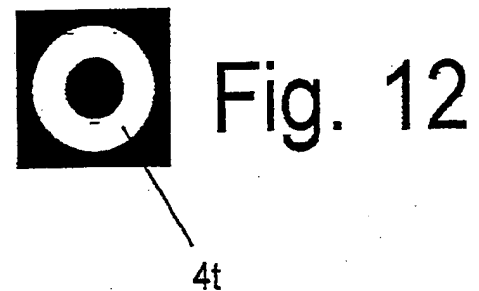
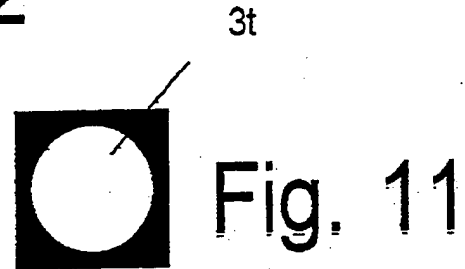
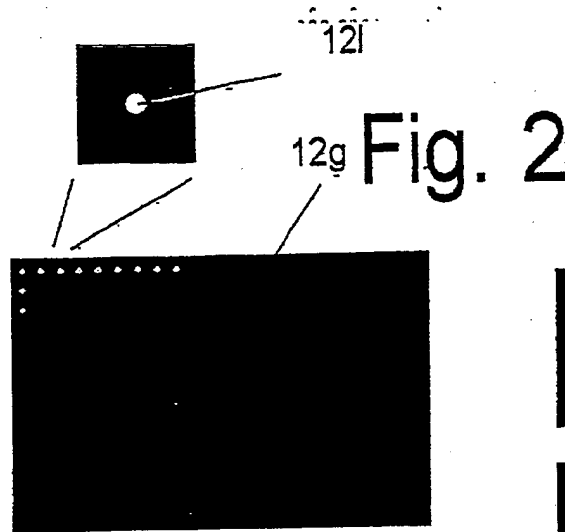
15. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für Auflichtanwendung der Strahlteiler (16) als halbdurchlässiger Spiegel ausgeführt ist.

16. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für Fluoreszenzanwendung der Strahlteiler (16) als dichroitischer Spiegel ausgeführt ist.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen







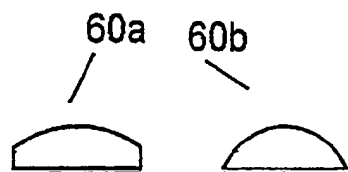


Fig. 3

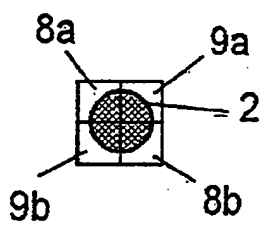


Fig. 6

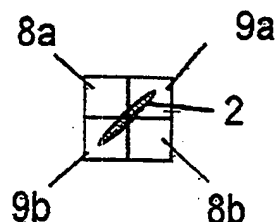


Fig. 7

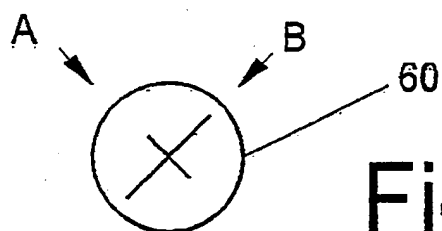


Fig. 4

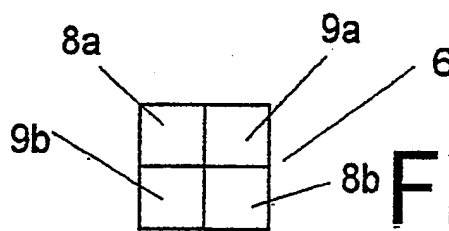
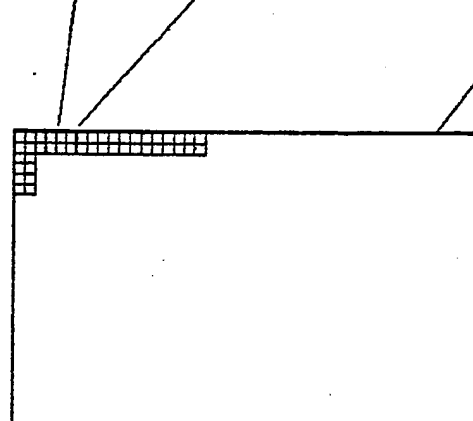
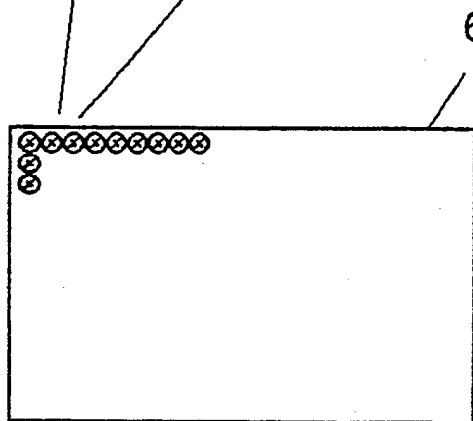


Fig. 5



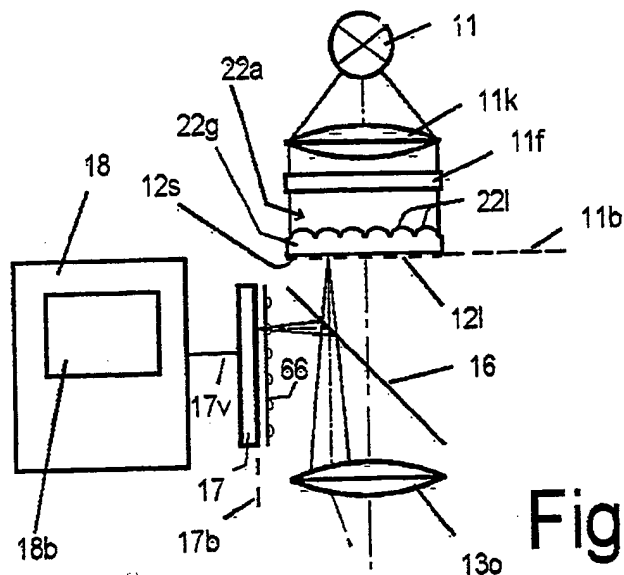


Fig. 14

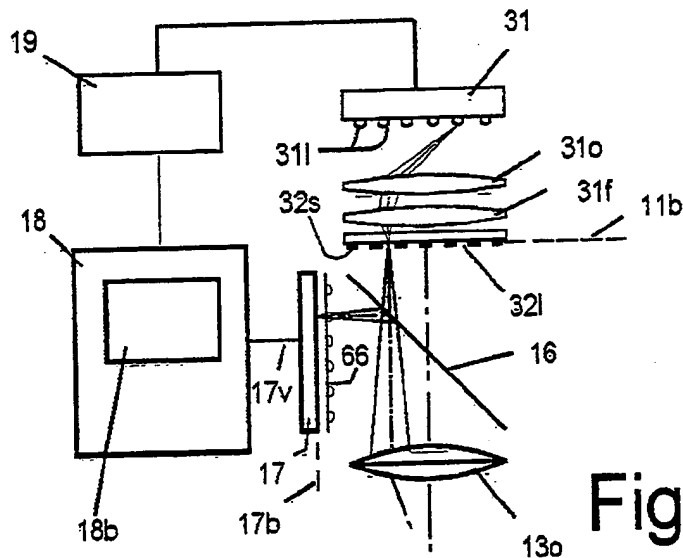


Fig. 15

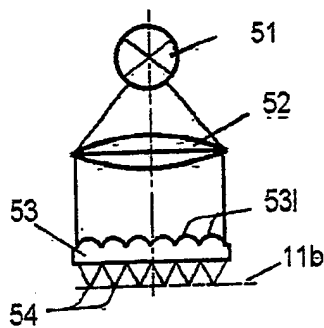


Fig. 16

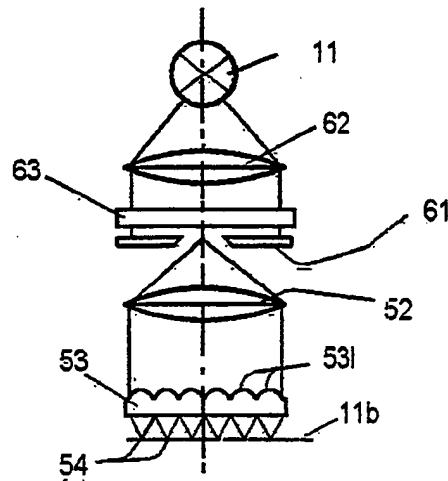


Fig. 17

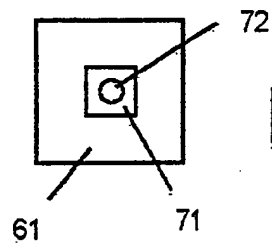


Fig. 18

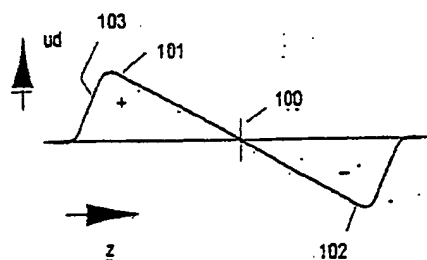


Fig. 19

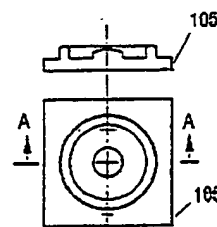


Fig. 20

Fig. 21

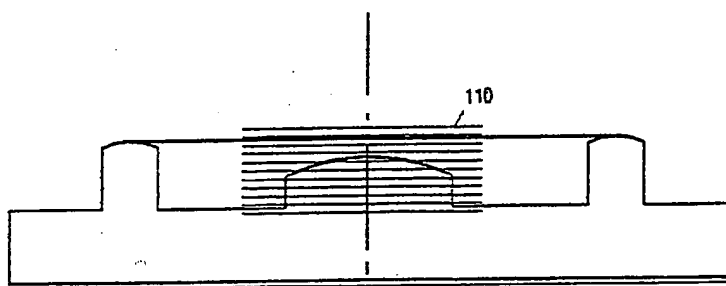


Fig. 22

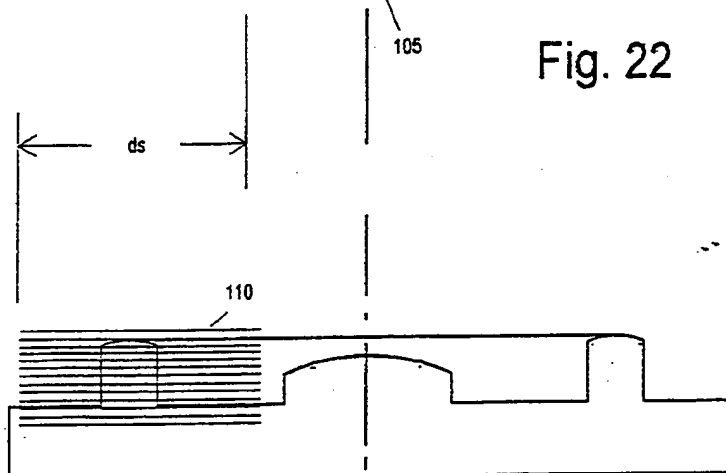


Fig. 23

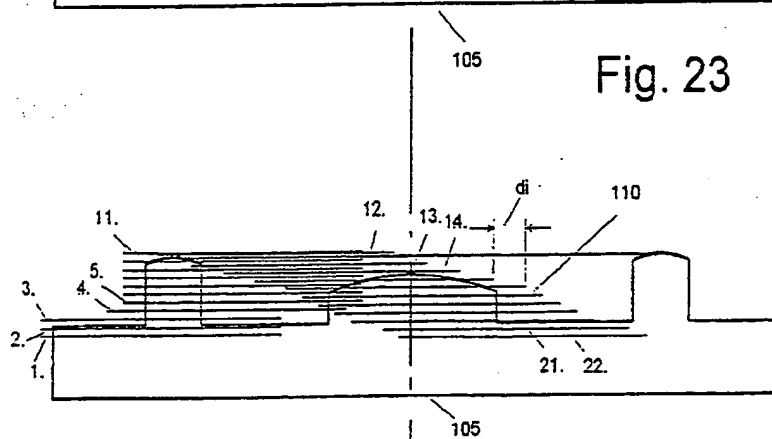


Fig. 24